



PENGARUH VARIASI KECEPATAN POTONG, FEEDING DAN  
KEDALAMAN POTONG TERHADAP UMUR PAHAT HSS  
YANG DILAPIS AIN-TiN-AIN

Oleh :  
APRI NURYANTO  
SUTOPO

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA  
2006

## A. PENDAHULUAN

Banyak jenis proses di bidang rekayasa pelapisan permukaan bahan (*Surface treatment*) yang bertujuan untuk menambah kekerasan, tahan terhadap korosi, tahan terhadap keausan, dan penampilan muka yang indah. Ada beberapa cara untuk mendapatkan sifat-sifat permukaan yang spesial diantaranya ialah dengan metode evaporasi, CVD, PVD, karburasi, nitridasi, implantasi ion, induksi listrik, dan *Sputtering*.

Proses *Sputtering* termasuk dalam bagian *Physical Vapor Deposition* (PVD), *sputtering* ini telah terbukti mampu meningkatkan kekerasan permukaan baik itu bahan logam, non logam, keramik maupun polimer. *Sputtering* adalah salah satu rekayasa bahan dengan cara penembakan ion-ion berenergi tinggi ke permukaan target (material pelapis), sehingga atom-atom target terlepas dari permukaannya, kemudian difokuskan ke permukaan substrat (material yang dilapisi). Proses ini berlangsung selama beberapa menit sampai terbentuk lapisan tipis di permukaan substrat. Metode ini mudah dikontrol sesuai dengan tebal lapisan yang diinginkan dan juga terjadinya *thermal stress* pada permukaan substrat relatif kecil.

Aplikasi dari teknik pelapisan dengan *sputtering* ini salah satunya adalah pada material alat potong (*cutting tools*). Alat potong ini digunakan dalam proses pemesinan yang digunakan untuk membuat komponen mesin. Beberapa dari ciri dari alat potong adalah harus memiliki ketahanan aus yang baik, kekerasan yang tinggi dan memiliki kecepatan potong yang tinggi pula. Salah satu alat potong yang masih banyak digukan dalam industri-industri manufaktur adalah baja kecepatan tinggi atau sering disebut pahat HSS (*High Speed Steel*). Pahat HSS ini banyak digunakan karena harganya yang relative murah dibanding dengan material lain seperti *cemented carbide*. Kelemahan dari material HSS ini adalah ketahanan yang masih kurang baik bila dibandingkan dengan material lain.

Telah banyak penelitian yang dilakukan untuk meningkatkan kemampuan dari pahat HSS akan tetapi hasilnya belum optimal. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lagi guna lebih meningkatkan umur pakai dari pahat HSS ini.

Penelitian pelapisan dari alat potong telah banyak dilakukan salah satunya dengan pelapisan AIN dan TiN. Penelitian pelapisan multilayer pada pahat HSS dengan pelapisan AIN/TiN/AIN belum pernah dilakukan. Penelitian yang ada baru pada pelapisan multilayer dengan AIN/TiN. Sehingga penelitian ini perlu dilakukan untuk melihat sejauh mana pengaruh pelapisan AIN/TiN/AIN secara bersama-sama terhadap pahat HSS.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif pada pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, terutama pada ilmu rekayasa permukaan bahan dan penambahan wawasan para ahli rekayasa permukaan. Hasil dari penelitian ini pula diharapkan bisa diterapkan pada industri sehingga dapat mengurangi biaya produksi.

## B. PERUMUSAN MASALAH

High Speed Steel (HSS) merupakan salah satu bahan yang masih digunakan sebagai alat potong pada mesin-mesin perkakas, khususnya untuk machining material dengan kekerasan rendah. Sesuai dengan latar belakang masalah yang telah diuraikan di muka, maka proses deposisi lapisan

tipis dengan teknik sputtering dapat dijadikan alternatif untuk meningkatkan kualitas permukaan material HSS dengan biaya yang lebih efisien.

Permasalahan yang akan diteliti dan dibahas pada penelitian ini adalah seberapa tinggi pengaruh variasi kecepatan potong, feeding dan kedalaman potong terhadap umur pahat HSS yang dideposisi lapisan tipis AlN-TiN-AlN apabila diperbandingkan dengan pahat HSS tanpa lapisan.

### C. Tinjauan Pustaka

Pahat bubut *High Speed Steels* (HSS) merupakan paduan dari 0,75%-1,5% Carbon (C), 4%-4,5% Chromium (Cr), 10%-20% Tungsten (W) dan Molybdenum (Mo), 5% lebih Vanadium (V), dan Cobalt (Co) lebih dari 12% (Childs, dkk, 2000). Pahat HSS dapat digolongkan menjadi tiga kelompok yaitu; *high speed steel*, *molybdenum high speed steel*, dan *superhigh speed steel*. Peningkatan kekerasan permukaan HSS dan ketahanan aus dapat dilakukan dengan pelapisan. Beberapa material pelapis diantaranya; tungsten karbida, titanium karbida, dan titanium nitrida, dengan tebal pelapisan 5-8  $\mu\text{m}$  (Boothroyd, 1975). Peningkatan kekerasan HSS dapat dilakukan dengan *di-quenching*, kekerasannya 52-63 HRC. Untuk HSS yang dipanaskan pada suhu 1175-1230  $^{\circ}\text{C}$  dan *di-quenching* dengan oli, kemudian *di-temper* pada suhu 550-580  $^{\circ}\text{C}$ , kekerasannya meningkat sampai 63-65 HRC. (Leslie, 1983)

Penelitian deposisi lapisan tipis Ti-Al-N pada HSS yang sebelumnya *di-aneal* (860 C), *di-quench* dari 1220 C dan kemudian *di-temper* pada suhu 550 C, dengan teknik *sputtering* DC pada suhu 350 C, tekanan gas 0.8 Pa, aliran gas 20 lt/min dan lapisan yang terbentuk adalah 4  $\mu\text{m}$  dilakukan oleh Lii (Lii, 1998).

Deposisi lapisan tipis Ti-Si-N dengan *sputtering*, variasi target campuran gas  $\text{N}_2/\text{Ar}$  telah dilakukan oleh Lee (Lee, 2000). Dengan menaikkan kandungan nitrogen pada lapisan Ti-Si-N berperan sebagai formasi pada ikatan *amorphous*  $\text{Si}_3\text{N}_4$  hasilnya menaikkan resistivitas. Berkurangnya kandungan Si dalam lapisan Ti-Si-N menyerupai formasi *crystal* TiN, sama pada laju  $\text{N}_2$ , resistivitasnya rendah. Pertumbuhan mekanisme lapisan tipis, diekspresikan dalam bentuk permukaan nitrogen pada target.

Deposisi lapisan TiN-AlN dengan substrat WC-6% Co dengan teknik *plasma assisted chemical vapour deposition* (PACVD). Komposisi dari lapisan tipis adalah 21% Ti, 28% AL, 48% N, 1,5% O, dan 1,5% Cl. Selanjutnya dilakukan proses *annealing* selama 1 jam dalam ruang vakum dengan temperatur 700 $^{\circ}\text{C}$  -1100 $^{\circ}\text{C}$ . (Menzel, dkk., 2000)

Deposisi titanium nitrida pada aluminium dengan metode *sputtering* mampu meningkatkan kekuatan sebesar 25%, ketahanan aus 43%, ketahanan korosi 89%, dengan tebal lapisan mencapai 0.6 mm. Proses *sputtering* berlangsung pada temperatur 100  $^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam, tekanan gas  $2 \times 10^{-1}$  torr (1 Pa =  $7.8 \times 10^{-3}$  torr) dan perbandingan gas  $\text{N}_2$  : Ar adalah 5:7 lt/min (Mudjijana, 2001).

Titanium aluminium nitrida (TiAlN) memiliki kekerasan yang sangat tinggi dan tahanan oksidasinya lebih baik dibanding TiN. Warnanya ungu keabu-abuan dan konduktivitas panasnya rendah dan sangat keras dan cocok untuk pahat potong mesin frais. Kunci kemampuan TiAlN adalah penambahan aluminium dalam bentuk lapisan sangat tipis dari  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Perbandingan aluminium dan

titanium adalah 2 : 1 dan 1.5 : 1, hasilnya meningkatkan ketahanan dan kemampuan kecepatan pemotongan lebih tinggi dan ini merupakan paduan yang luar biasa (Destefani, 2002).

Stabilitas *thermal* pada *sputtering* dengan lapisan tipis titanium nitride sebagai *diffusion barrier* untuk kapasitor-dasar elektrode. Dimana tampilan dari sifat elektrik pada Ru/TiN/Poly-Si/Si kontak sistem lebih kecil dibanding dengan Ru Ox/TiN/Poly-Si/Si kontak sistem. Metodenya yaitu menambahkan oksigen membentuk lapisan tipis pada Ru Ox dan ikatan kimianya sangat kuat (Dong, 2003)

Metode *sputtering* sangat baik untuk meningkatkan sifat keras, tahan aus, tahan korosi dan tahan suhu tinggi. Metode *sputtering* telah terbukti mampu meningkatkan kekerasan permukaan logam dengan beberapa keuntungan antara lain; dapat melapisi lapisan tipis dari bahan dengan titik leleh tinggi, dapat melapisi bahan logam, paduan, semikonduktor dan bahan isolator, daya rekat tinggi, ketebalan lapisan dapat dikontrol, dan penghematan bahan yang dideposisikan (Sujitno, 2003).

Penelitian deposisi lapisan tipis TiN pada ujung mata bor dengan teknik implantasi ion. Berdasarkan hasil uji kekerasan terjadi peningkatan kekerasan 51.61 % dan laju pengeboran meningkat rata-rata sebesar 10 % (Yuniarto, dkk., 2003).

Pelapisan permukaan alat potong dengan Titanium Nitrida (TiN) sekitar 2-4  $\mu\text{m}$ , mampu meningkatkan kekuatan sisi potong, tendensi terbentuknya BUE (*built up edge*) pada permukaan pahat menjadi lebih kecil dan gesekan antara pahat dan benda kerja dapat diturunkan (Kalpakjian, 2003). Penelitian deposisi lapisan tipis TiN pada substrat HSS dengan teknik *sputtering* DC, hasil penelitiannya menunjukkan peningkatan kekerasan sebesar 61.6 % dan umur pemakaiannya meningkat 17% (Ibrahim, 2004). Penelitian deposisi lapisan tipis TiN/AlN pada pahat bubut HSS dengan teknik *sputtering* DC, hasil penelitian menunjukkan bahwa lapisan tipis TiN/AlN mampu meningkatkan kekerasan sebesar 107% dan umur pahat meningkat 80~100% (Supriyanto, 2005).

## D. Landasan Teori

### 1. Plasma Sputtering

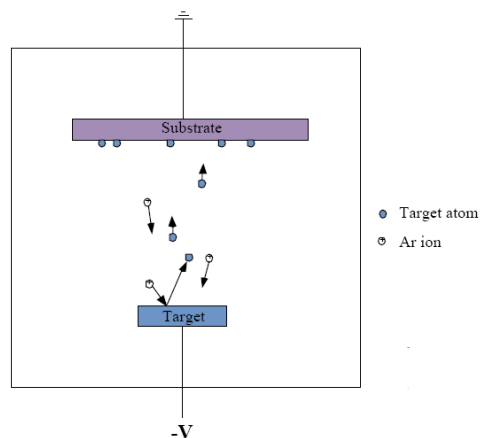
Dengan teknologi plasma *sputtering* maka atom-atom yang akan dideposisikan/dilapiskan pada permukaan benda kerja dibombardir dengan ion-ion berenergi dari gas mulia (*gas sputter*) seperti Xe, He, Ar, Ne dan Kr. Akibat transfer momentum dari ion gas sputter ke atom-atom target, maka atom-atom target akan terlepas dari induknya dan sebagian bergerak menuju benda kerja yang selanjutnya bereaksi dengan permukaan benda kerja untuk membentuk lapisan tipis (Suyitno, 2003).

Keunggulan pembuatan lapisan tipis dengan teknologi plasma *sputtering* dibanding dengan teknik *evaporasi* adalah bahwa (1) dapat menghasilkan lapisan tipis dari bahan yang mempunyai titik leleh tinggi yang dengan metode *evaporasi* tidak mungkin dapat dilakukan, (2) hampir semua bahan padat seperti semikonduktor, logam, paduan, keramik, maupun isolator dapat dideposisikan, (3) penghematan bahan yang akan dideposisikan, (4) mempunyai daya lekat yang lebih kuat, sehingga dapat memperpanjang umur pemakain komponen, dan (5) ketebalan lapisan dapat dikontrol dengan akurat.

Parameter yang mempengaruhi proses plasma *sputtering* adalah jenis ion (nomor atom dan nomor massa), energi ion (keV), arah ion datang dengan normal ( $\theta$ ), dan jenis target (nomor atom dan

nomor massa) yang akan dideposisi/dilapisi. Energi untuk proses ionisasi gas-gas *sputter* dapat diperoleh dengan tegangan DC ataupun RF. Hanya kalau menggunakan tegangan DC tidak dapat diterapkan untuk target yang bersifat nonkonduktif misalnya isolator dan ini hanya dapat dilakukan dengan RF.

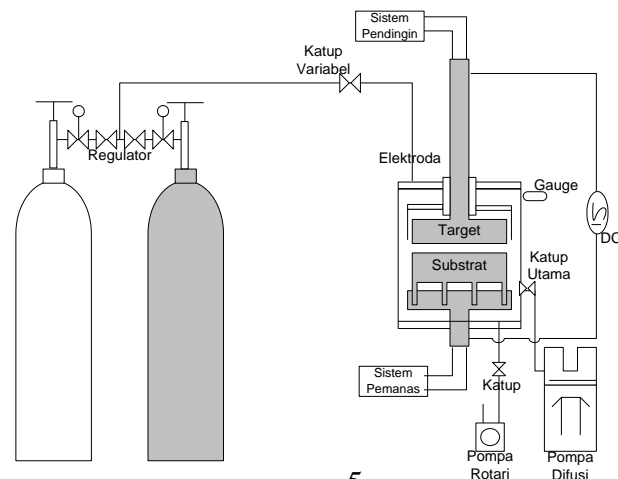
Proses tumbukan ion dengan atom target dapat ditunjukkan sebagai berikut :



Gambar 1. *Sputter Deposition Process*

Prinsip tumbukan ion inilah yang mendasari dari pemanfaatan plasma *sputtering* untuk mendeposisikan lapisan tipis pada permukaan bahan. Ada beberapa fenomena yang mungkin terjadi sebagai akibat interaksi berkas ion sputter dengan material target :

1. Ion gas *sputter* terpantul dan dapat menjadi netral dengan menangkap elektron auger.
2. Atom target akan terpental keluar dapat disertai dengan elektron sekunder.
3. Ion gas *sputter* yang mempunyai energi tinggi dapat ter implantasi/ tertanam ke dalam target dan dapat mengakibatkan perubahan-perubahan sifat-sifat permukaan target.
4. elektron-elektron dalam plasma dapat terpantul oleh permukaan target.



Gambar 2 Rangkaian peralatan *Sputtering* DC

Skema alat *sputtering* DC ditunjukkan dalam Gambar 2. Pada teknik ini, bahan target yang digunakan untuk melapisi substrat yaitu Al dan Ti ditembak oleh atom Argon energi tinggi, sehingga atom permukaan bahan target tersebut akan memperoleh energi yang cukup untuk melepaskan dari permukaannya. Atom yang terhambur dari permukaan akibat *sputtering* ini dapat digunakan untuk pendeposisian lapisan tipis pada substrat (Stuart, 1983).

Terjadinya proses *sputtering* yang pertama kali diawali oleh adanya tumbukan ion dengan atom-atom pada permukaan target diikuti oleh tumbukan kedua dan ketiga antar atom-atom yang berada di permukaan target, sehingga terjadi perpindahan atom-atom dan suatu tumbukan yang berhasil akan mengeluarkan pada permukaan target.

Banyaknya atom yang terlepas dari permukaan target untuk setiap ion datang didefinisikan dengan apa yang dinamakan *sputter yield* (S, atom/ion datang) dan dapat dituliskan sebagai, (Sujitno, 2003).

Energi kinetik rata-rata ion gas *sputter* yang menumbuk material diperoleh dari energi potensial listrik yang terpasang diantara elektroda. Saat menumbuk permukaan target, maka energi ion gas *sputter* yang datang ke permukaan target misalkan  $E_i$ , maka energi yang ditransfer ke atom-atom target adalah sebesar, (Sujitno, 2003).

$$E_t = \frac{4M_i M_s}{(M_i + M_s)^2} \cos^2 \theta \quad (1)$$

dengan,

- $E_i$  = energi kinetik rata-rata ion gas *sputter*
- $E_t$  = energi yang ditransfer
- $M_i$  = massa atom ion gas *sputter*
- $\theta$  = sudut datang ion gas *sputter* dengan normal

Bila arah ion datang tegak lurus permukaan target (berarti  $\theta = 0$ ), maka energi yang ditransfer adalah maksimum dan besarnya (Sujitno, 2003) adalah;

$$E_t = \frac{4M_i M_s}{(M_i + M_s)^2} E_i \quad (2)$$

Dalam hal ini bila :

- 1)  $M_i < M_s$  maka gas ion *sputter* akan dipantulkan kembali ke permukaan target.
- 2)  $M_i = M_s$  maka  $E_t = E_i$  dengan kata lain energi ion gas *sputter* seluruhnya diberikan ke atom-atom target.
- 3)  $M_i > M_s$  maka keduanya akan meninggalkan tempat tumbukan dan menuju ke arah bagian dalam permukaan material.

Dengan  $M_i$  adalah massa ion,  $M_s$  adalah massa atom target, dan  $E$  adalah energi ion. Jumlah atom yang lepas dari permukaan target per ion penumbuk dinyatakan sebagai produksi *sputter* (S) dirumuskan sebagai berikut (Sujitno, 2003)

$$S = k \frac{M_i M_s}{\lambda(E) \cos \theta (M_i + M_s)^2} E_i \quad (3)$$

dengan  $k$  adalah konstanta yang nilainya tergantung pada bahan target,  $\lambda$  adalah jejak bebas rata-rata tumbukan elastik di sekitar permukaan target dan  $\theta$  adalah sudut antara permukaan normal target dan arah ion datang. Jejak bebas rata-rata (Sujitno, 2003)

$$\lambda = \frac{1}{\pi R^2 n_o} \quad (4)$$

dengan  $n_o$  adalah jumlah atom-atom kisi persatuan volume dan  $R$  adalah jari-jari tumbukan. Untuk bola tegar  $R$  dirumuskan (Sujitno, 2003) sebagai;

Dengan  $E' = M_i E / (M_i + M_s)$ ,  $C_1$  adalah suatu konstanta,  $a_n$  adalah jari-jari atom hydrogen,  $e$  adalah muatan electron,  $\epsilon_o$  adalah konstanta dielektrikum dalam vakum,  $Z_1 e$  dan  $Z_2 e$  adalah muatan untuk  $M_i$  dan  $M_s$ . Persamaan (2) memberikan informasi kuantitatif mengenai produksi sputter, sedangkan Almen merumuskan produksi *sputter* ( $S$ ) secara empiris sebagai berikut, (Sujitno, 2003) :

$$S = 4,24 \times 10^{-8} n_o R^2 E \frac{M_1 M_2}{(M_1 + M_2)^2} \text{Exp} \left( -10,4 \frac{M_1}{M_1 + M_2} E_b \right) \quad (6)$$

dengan  $E_b$  adalah energi ikatan bahan target.

Jumlah partikel/atom yang tersputter/terpecek persatuan luasan katoda (target) dapat dituliskan oleh persamaan (Sujitno, 2003):

$$W_o = \frac{J_+ \cdot S \cdot t \cdot A}{e N_A} \quad (7)$$

dengan,  $J_+$  = rapat arus berkas ion (orde mA/cm<sup>2</sup>)  
 $e$  = muatan elektron ( $1,6 \times 10^{-19}$  Coulomb)  
 $S$  = *sputter yield* (atom/ions)  
 $A$  = berat atom target (amu)  
 $N_A$  = bilangan Avogadro ( $6,021 \times 10^{23}$  atom/mol)

Jumlah partikel/atom ter-*sputter* yang menempel pada permukaan material persatuan luas (Sujitno, 2003) adalah;

$$W = \frac{k_1 \cdot W_o}{p \cdot d} \quad (8)$$

dengan,

$k_1 = r_c / r_a$ ,  $r_c$  dan  $r_a$  masing-masing adalah jari-jari katode dan anode untuk sistim planar  
 $k_1 = 1$ .  
 $p$  = tekanan (torr)  
 $d$  = jarak antar elektrode  
 $t$  = lamanya proses deposisi

Sedang laju deposisinya diberikan oleh persamaan, (Sujitno, 2003)

$$R \approx \frac{W}{t} \quad (2.9)$$

## 2. Aluminium dan Titanium Nitrida

Titanium Nitrida (TiN) memiliki sifat-sifat istimewa, antara lain memiliki kekerasan yang cukup tinggi, tahan aus, tahan temperatur tinggi (titik lebur tinggi), tahan korosi, koefisien gesek rendah, penghantar panas yang tinggi, berwarna keemasan, memiliki daya ikat yang baik antara pelapis dan

bahan yang dilapisi. Sehingga dengan sifat-sifat di atas sangat baik untuk pelapisan alat potong, dekoratif, dan komponen instrumen (Guoqing, 1998).

Menzel (2000) menyatakan bahwa coating TiN-AIN dapat digunakan sebagai lapisan pelindung (*protective layers*) pada alat potong karena memiliki kekerasan yang sangat tinggi dan tahan terhadap oksidasi sampai dengan temperature 800°C. Lebih lanjut Menzel menjelaskan untuk proses pemesinan tanpa menggunakan pendingin (*dry cutting*), perilaku termal dan termomekanikal dari keduanya mampu meminimalkan kemungkinan perubahan struktur sampai dengan temperatur 1000°C.

Pendapat yang hampir sama dikemukakan oleh Bhat (1998) bahwa lapisan tipis TiN dan AIN yang dideposisikan dengan teknik *sputtering* mampu menunjukkan kenaikan kekerasan dan ketahanan aus yang signifikan dibandingkan dengan teknik *coating* konvensional lainnya.

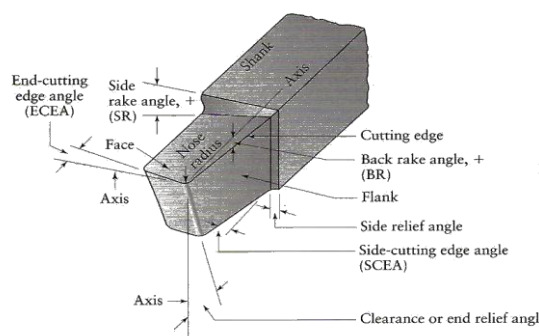
### 3. Pahat bubut HSS

Pada tahun 1900 FW. Taylor dan Maunsel White menemukan HSS (*High Speed Steel*) atau baja kecepatan tinggi. Amstead (1977) menyempurnakan HSS dengan menambahkan tungsten 18% dan chromium 5,5% ke dalam baja paduan. Komposisi HSS biasanya terdiri dari paduan besi dengan karbon, tungsten, molybdenum, chromium dan vanadium bahkan kadang-kadang ada tambahan cobalt (ASM International Vol. 16, 1997).

HSS dikategorikan sebagai HSS konvensional dan HSS spesial. HSS konvensional terdiri atas Molydenum HSS dan Tungsten HSS. Standar AISI dari HSS jenis ini adalah M1, M2, M7, M10, T1 dan T2. Sedangkan HSS spesial antara lain terdiri atas *Cobalt Added HSS*, *High Vanadium HSS*, *High Hardness Co HSS*, *Cast HSS*, *Powder HSS* dan *Coated HSS* (Rochim, 1993).

Kekerasan permukaan HSS dapat ditingkatkan dengan melakukan pelapisan. Material pelapis yang digunakan antara lain : tungsten karbida, titanium karbida dan titanium nitride, dengan ketebalan pelapisan 5–8µm (Boothroyd, 1975).

Selain material dari pahat, faktor lain yang mempengaruhi proses pembubutan adalah geometri dari pahat. Bentuk pahat yang dipilih dari pahat harus sesuai dengan material yang dibubut. Geometri dari pahat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Geometri pahat bubut (Kalpakjian, 2003)

Geometri pahat yang paling berpengaruh terhadap tinggi rendahnya umur pahat adalah sudut tatal (*side rake angle*), sudut bebas samping (*side relief angle*) dan sudut bebas depan (*end relief*

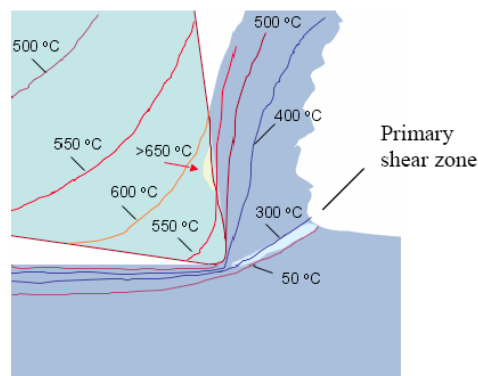


angle) (Gerling, 1974). Pollack (1977), menjelaskan bahwa untuk pembubutan baja karbon medium dengan pahat HSS, kondisi optimum tercapai dengan sudut total = 10°, sudut bebas samping = 8° dan sudut baji = 72°.

#### 4. Keausan pahat bubut

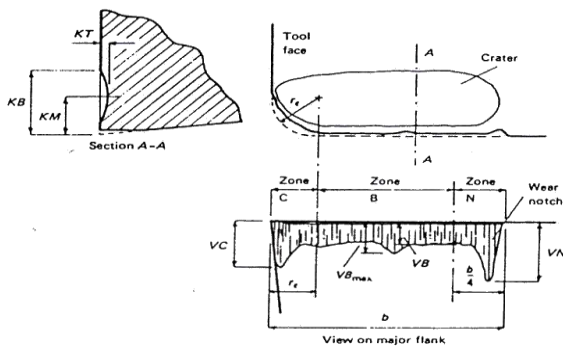
Pada proses pembubutan keausan pahat dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu : beban yang bekerja pada pahat, temperatur yang ditimbulkan karena gesekan, dan gesekan antara pahat dan material yang dibubut. Keausan tergantung juga pada jenis material dan pahat bubut dan benda kerja yang dipilih, geometri pahat bubut dan fluida yang digunakan sebagai pendingin (Kalpakjian, 1985).

Kondisi distribusi suhu pada saat pemotongan/pembubutan bahan baja lunak dengan menggunakan pahat HSS dapat dilihat pada Gambar 4.

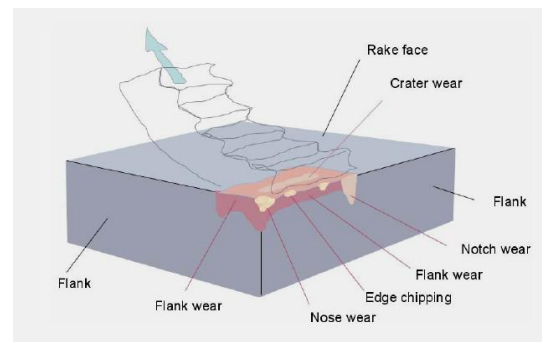


Gambar 4. Kondisi distribusi suhu pada saat pembubutan (Hogmark, 2005)

Tahapan keausan pahat dapat dijadikan menjadi dua : 1) keausan bagian muka pahat yang ditandai dengan pembentukan kawah/lekukan (*crater*) sebagai hasil dari gesekan serpihan (*chip*) sepanjang muka pahat, 2) keausan pada bagian sisi (*flank*) yang terbentuk akibat gesekan benda kerja yang bergerak (dengan *feeding* tertentu).



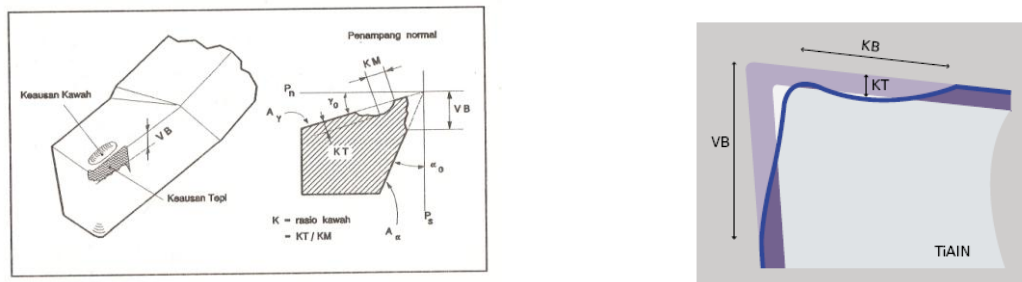
Gambar 5. Beberapa tipe keausan pahat bubut



Gambar 6. Schematic of tool wear distribution (Hogmark, 2005)

#### 5. Umur Pahat

Kriteria yang direkomendasikan oleh ISO untuk mendefinisikan umur pakai pahat efektif pada pahat baja kecepatan tinggi atau pahat keramik adalah: (1) Kegagalan katastropik, (2)  $VB = 0,3$  mm jika keausan *flank* teratur dalam zona B, dan (3)  $VB_{max} = 0,6$  mm jika keausan *flank* tidak teratur dalam zona B. Keausan pahat ujung tunggal dalam operasi pembubutan ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Bagian pahat bubut yang mengalami keausan (Rochim, 1993).

Kecepatan potong proses pembubutan dapat dihitung dengan persamaan berikut (Gerling, 1974);

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \quad (10)$$

dengan,

- V = kecepatan potong (m/min)
- D = Diameter benda kerja (mm)
- n = putaran benda kerja (rpm)

## 6. Tool Life Criteria

Kriteria umur pahat digunakan untuk memprediksi umur pahat kalau konstanta dan kecepatan potong diketahui. Umur pahat ini ditentukan oleh batasan keausannya. Persamaan kriteria umur pahat ditemukan oleh Taylor dan sering disebut dengan *Taylor's tool life equation* (Child, 2000). Persamaan hubungan empiris antara kecepatan potong dan umur pahat untuk pahat HSS dituliskan sebagai berikut:

$$VT^n = C \quad (11)$$

dengan ;

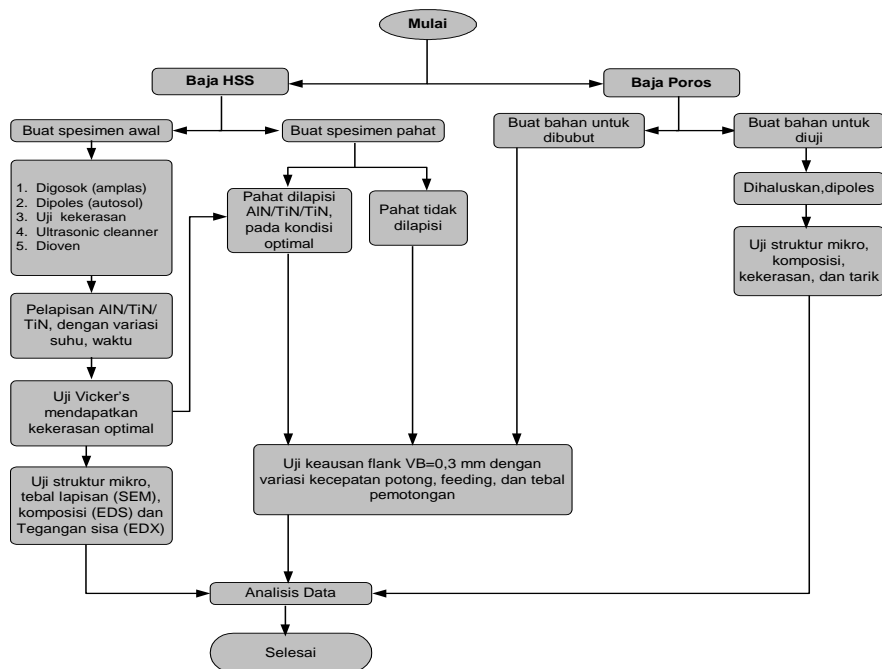
- n = konstanta ditentukan dengan eksperimen.
- V = kecepatan potong (m/min)
- T = umur pakai pahat (min)

Nilai konstanta C pada persamaan 11, ditentukan secara ekstrapolasi pada harga umur pahat (T) = 1 menit. Untuk nilai n dapat dihitung dengan rumus :

$$n = \frac{\text{Log } V_2 - \text{Log } V_1}{\text{Log } T_1 - \text{Log } T_2} \quad (12)$$

### E. Cara Penelitian

Diagram alir dari penelitian dapat digambarkan sebagai berikut :

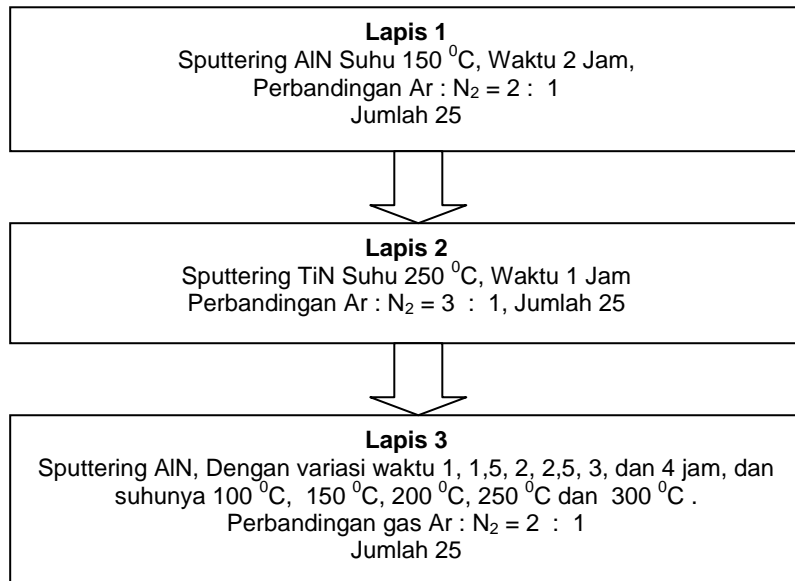


Gambar 8. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan substrat yaitu pahat HSS yang mempunyai paduan *carbon, chromium, vanadium, molybdenum*. Benda pelapis (target) diletakkan pada katoda dan benda yang dilapisi diletakkan pada anoda yang ditanahkan. Gas argon dialirkan ke tabung plasma dan dilucutkan dengan sumber tegangan tinggi DC yang dihubungkan ke terminal katoda dan anoda, gas nitrogen juga dialirkan secara bersamaan ke tabung plasma untuk membentuk lapisan aluminium nitride dan titanium nitride.

Specimen pengujian dibuat dari pahat HSS dengan dimensi (9.4 x 9.4 x 5mm) sebanyak 25 buah, diuji kekerasannya dengan Vickers Hardness Tester. Specimen ini digunakan untuk mencari waktu dan suhu yang optimal pada pelapisan AIN/TiN/AIN. Pada pelapisan pertama AIN menggunakan suhu 150<sup>0</sup>C dengan waktu 2 jam (Supriyanto, 2005), pelapisan kedua AIN/TiN dengan menggunakan suhu 250<sup>0</sup>C dan waktu 1 jam (Ibrahim, 2004). Pada pelapisan ketiga AIN/TiN/AIN divariasi antara suhu dan waktunya. Pada lapisan ketiga variasi suhu mulai dari 100<sup>0</sup>C s/d 300<sup>0</sup>C dan

variasi waktu mulai dari 1 jam sampai 4 jam. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut berikut:



Gambar 9. Suhu dan waktu pelapisan

Specimen yang telah di sputtering diuji kekerannya dengan Vicker's Hardness Tester. Dari hasil uji kekerasan dicari suhu dan waktu yang optimal. Setelah ketemu suhu dan waktu yang optimal digunakan untuk melapisi pahat HSS yang sebenarnya untuk menguji keausannya. Pengujian keausan pahat HSS menggunakan variasi parameter kecepatan potong (*cutting speed*) berkisar antara 26 m/menit sampai 42 m/menit, kecepatan penyayatan (*feeding*) 0.084, 0.09, 0.112 mm/putaran, dan kedalaman pemotongan (*dept of cut*) 0.5, 1, dan 1.5 mm (Supriyanto, 2005).

## F. Hasil Dan Pembahasan

### 1. Hasil pengujian umur pahat

Data hasil perbandingan pengujian keausan dari pahat HSS pada VB=0,3 mm baik yang tidak dilapisi dan pahat HSS yang dilapisi oleh AlN/TiN/AlN dapat disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian keausan pahat HSS pada VB=0,3 mm

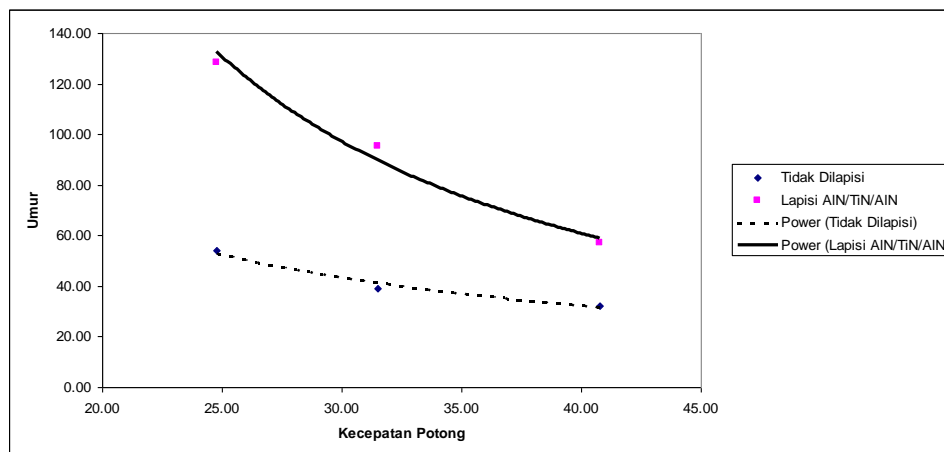
No.	Feeding (mm/put)	Tebal Tatal (mm)	Tanpa Pelapisan		AlN/TiN/AlN	
			Cs Aktual (m/min)	Umur Pahat (Menit)	Cs Aktual (m/min)	Umur Pahat (Menit)
1	0.084	0,5 mm	24.870	37.9868	24.558	177.325
2	0.084	0,5 mm	31.795	34.8678	31.369	133.767
3	0.084	0,5 mm	39.090	29.7190	38.858	42.575
4	0.090	0,5 mm	23.940	56.6030	23.362	155.067
5	0.090	0,5 mm	32.640	35.9879	31.369	145.500
6	0.090	0,5 mm	38.570	41.2333	38.858	64.986
7	0.112	0,5 mm	24.560	37.4012	24.558	65.586
8	0.112	0,5 mm	30.095	26.3750	30.097	60.167
9	0.112	0,5 mm	37.530	25.3714	37.303	36.407
10	0.084	1 mm	24.618	69.6464	24.618	201.367
11	0.084	1 mm	28.040	55.7909	29.221	173.672
12	0.084	1 mm	39.845	49.6333	41.542	131.900

13	0.090	1 mm	24.618	76.4667	23.110	123.980
14	0.090	1 mm	29.235	47.9333	31.369	115.717
15	0.090	1 mm	41.540	33.7333	41.542	91.217
16	0.112	1 mm	24.618	64.9621	23.315	164.267
17	0.112	1 mm	28.040	51.4976	30.464	73.715
18	0.112	1 mm	39.845	36.2139	41.542	40.986
19	0.084	1,5 mm	26.425	42.3667	25.801	102.133
20	0.084	1,5 mm	30.155	36.0552	31.369	61.906
21	0.084	1,5 mm	41.540	31.0867	40.930	32.703
22	0.090	1,5 mm	24.870	53.0204	23.936	83.191
23	0.090	1,5 mm	37.730	36.2500	37.727	58.489
24	0.090	1,5 mm	44.035	23.2143	46.111	42.642
25	0.112	1,5 mm	24.560	49.3148	23.936	84.267
26	0.112	1,5 mm	35.610	26.5405	35.608	34.854
27	0.112	1,5 mm	45.075	20.4444	45.075	32.329

Hasil perbandingan umur dan kecepatan potong pada pahat bubut HSS yang dilapisi AIN/TiN/AIN dan yang tidak dilapisi pada kecepatan potong rendah, sedang, dan tinggi dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 15, berikut :

Tabel 2. Perbandingan Umur dan Kecepatan Potong pada Pahat yang dilapisi dan tidak

Kecepatan Potong	Umur Pahat HSS	
	Tidak Dilapisi	DiLapisi AIN/TiN/AIN
24.79	54.20	128.58
31.48	39.03	95.31
40.79	32.29	57.31

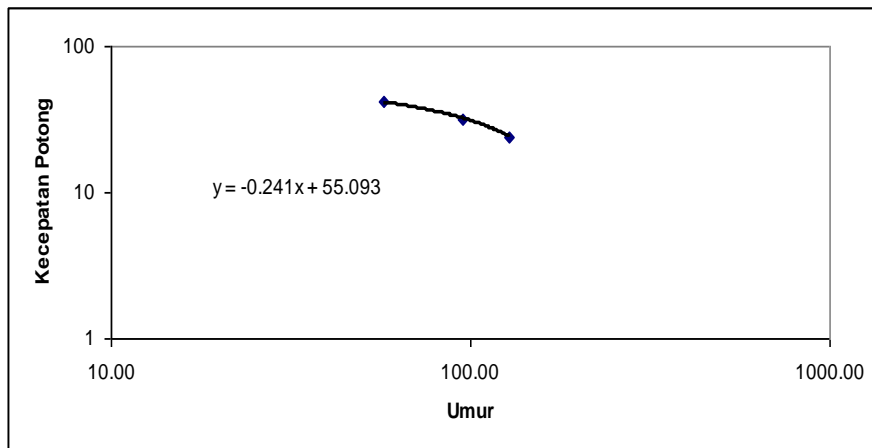


Gambar 15. Grafik perbandingan variasi kecepatan potong dengan umur pahat

Dari grafik tampak bahwa semakin tinggi kecepatan potongnya akan semakin rendah umurnya. Umur pada pahat HSS yang dilapisi AIN/TiN/AIN menunjukkan peningkatan umur yang lebih tinggi dari pada yang tidak dilapisi. Rata-rata peningkatan umur untuk pahat HSS yang dilapisi AIN/TiN/AIN sebesar 118,74 % (meningkat dari 5,2% sampai 366,8%).

## 5. Kriteria Umur Pahat HSS yang Dilapis AIN/TiN/AIN (*Tool Life Criteria*)

Berdasarkan data pada Tabel 1 dan 2, variasi kecepatan potong yang digunakan meliputi tiga kategori yaitu ; kecepatan potong rendah, sedang dan tinggi. Setiap tingkat kecepatan digunakan untuk membubut baja karbon rendah dengan variasi *feeding* 0,084, 0,09 dan 0,112 mm/put. serta kedalaman potong masing-masing 0,5 mm, 1 mm dan 1,5 mm.



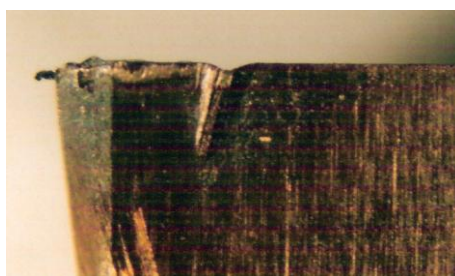
Gambar 16. Grafik kriteria umur pahat HSS yang dilapis AIN/TiN/AIN

Rumus umur pahat Taylor :  $V T^n = C$ , dimana nilai  $n$  sangat ditentukan dari karakteristik benda kerja dan material alat potong (pahat) yang digunakan. Pada material *medium-carbon steel* dan HSS sebagai alat potong, nilai  $n$  berkisar 0,11. Nilai konstanta  $C$  ditentukan pada titik dimana umur pahat ( $T$ ) =1 menit.

Pada penelitian ini, material yang dipotong adalah baja karbon rendah, sedang alat potong yang digunakan adalah HSS yang dilapis AIN/TiN/AIN. Dari Gambar 4.16 tersebut dapat ditentukan untuk  $T = 1$  menit maka nilai  $C = 54,852$ . Nilai  $n$  dihitung dengan persamaan 2.12 dan diperoleh nilai  $n = 0,17$ . Sehingga persamaan umur pahat Taylor untuk material baja karbon rendah dengan alat potong HSS dilapis AIN/TiN/AIN adalah :  $V T^{0,17} = 54,852$ .

## 6. Pengamatan Makro *Flank Wear* Sisi Potong Pahat Bubut HSS

Dari hasil pengamatan Foto makro dari pahat dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 17. Foto makro *flank wear* sisi potong pahat HSS

## G. Kesimpulan Dan Saran

Deposisi lapisan tipis AIN/TiN/AIN mampu meningkatkan kekerasan pahat sebesar 110,68% dan ketahanan aus pahat meningkat sebesar 118,74 %. Kriteria umur pahat HSS yang dilapisi AIN/TiN/AIN yang digunakan untuk membubut baja karbon rendah adalah :  $V T^{0,17} = 54,852$ .

Peneliti selanjutnya disarankan untuk menaikkan suhu *sputtering* AIN/TiN/AIN lebih dari 300°C karena pada kondisi itu kekerasan masih naik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amstead, B.H., Ostwald, dan Begeman, 1985, "Manufacturing Processes", Seventh edition, John Wiley & Sons, New York.
- ASM International, 1997, "Metals Handbook of Machining", Material, Ninth Edition Vol. 16.
- Bhat, DG., 1998, "Application of CVD and PVD Technologies to Cutting Tools and Evaluation of Tool Failure Mode", UES, Inc., Dayton, USA.
- Boothroyd, G., 1975, "Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, International Student Edition", McGraw-Hill, Tokyo, Japan.
- Childs, T., Maekawa, K., Obikawa, T., and Yamane, Y., 2000, "Metal Machining Theory and Applications", by John Wiley & Sons Inc, New York-Toronto.
- Destefani, J., 2002, "Cutting tools", Manufacturing Engineering, Oktober 2002
- Dong, S., Roh, J.S., and Lee, S., 2003, "Enhanced Thermal Stability of a Sputtered titanium Nitride Film As a Diffusion barrier for capacitor-Bottom Electrodes", Journal of Electronic Material. Vol 32 No, 8. 2004.
- Gerling, 1974, "All About Machine Tools", Wiley Eastern Private Limited, New Delhi
- Guoqing, Y., Jingsheng C., 1998, "Formation of Titanium Nitride Film by Energetic Cluster Impact Deposition", Elsevier Journal, Thin Solid Film 355, 59-63
- Hogmark, S., 2005, "Wear mechanisms of HSS cutting tools", Uppsala University, The Ångström Laboratory, Mikael Olsson, Dalarna University, Sweden
- Ibrahim, AG., 2004, "Pengaruh Tebal Potong Terhadap Laju Keausan Pahat Bubut HSS Yang Dilapisi Titanium Nitrida dengan Teknik Sputtering", Tesis, Jurusan Teknik Mesin UGM
- Kalpakjian, S., 2003, "Manufacturing Processes for Engineering Materials", Wesley Publishing Company, USA
- Lee W.H., park S. K, Kang G.J, rencroft P.J, lee J. G. 2000, "Deposition Characteristics of Ti-Si-N. Films Reactively Sputtered From Various Targets in a N<sub>2</sub>/Ar Gas Mixture", Electronics materials, Vol. 30 No. 2. 2001
- Leslie, W.C., 1983, "The Physical Metallurgy of Steels", McGraw-Hill, Tokyo, Japan.

- Lii, D.F., 1998, "Wear Behaviors of TiAlN Films Deposited on Plasma Nitrided High Speed Steel", *Surface Engineering*, vol. 14, no.4, 305-308. NSC 82-0405-E-006-214.
- Menzel, S., Gobel, TH., Bartsch, K., and Wetzig, K., 2000, "Phase Transition in PACVD (TiAl)N Coating After Annealing", *Elsevier Journal, Surface and Coating Technology* 124, 190-195 Park, USA.
- Mudjijana, Sudjatmoko, Sujitno dan Susanto, 2001, "Deposition lapisan tipis titanium Nitrida pada Subtrat Alumunium dengan Teknik Sputtering DC", *Proseding Seminar Nasional Pengembangan Keramik Teknologi dan Aplikasinya*. Serpong, Indonesia.
- Ostwald, PF., and Munoz, J., 1997, "Manufacturing Processes and Systems", John Wiley & Sons, Inc., USA
- Pollack, W., Herman, 1979, "Manufacturing and Machine Tool Operation", Second Edition, Printice Hall, New Jersey, USA
- Rochim, T., 1993, "Teori dan Teknologi Proses Pemesinan", HEDSP, Jakarta
- Stuart, R.V., 1983, "Vacuum Technology, Thin Film, and Sputtering", Academic Press, Inc.
- Supriyanto, 2005, "Pengaruh Pelapisan TiN dan AlN pada bahan HSS terhadap Kekerasan dan Umur Pahat", Tesis S2, Jurusan Teknik Mesin UGM.
- Suyitno, BA., 2003, "Aplikasi Plasma Dan Teknologi Sputtering Untuk Surface Treatment", *Workshop Sputtering Untuk Rekayasa Permukaan Bahan*, P3TM-BATAN, Yogyakarta.
- Wasa, K., 1992, "Hand book of Sputter Deposition Technology", Principles, Technology and Application, Noyes Publications.
- Yuniarto, HA., Mudjijana, Malau V., Adika., 2003, "Pengaruh Deposisi lapisan Tipis TiN Pada Ujung Mata Bor terhadap Laju Pengeboran pada Baja Karbon Rendah", *Media Teknik*, No.4 Tahun XXV, November, 49-54.